

## **Evaluasi Kemampuan Merestorasi Sifat Mandul Jantan pada Beberapa Aksesori Kapas** *Evaluation Restoring Ability of Male Sterile Character Among Cotton Accessions*

**Emy Sulistyowati, Siwi Sumartini, Moch. Machfud, dan Abdurrahman**

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat

Jln. Raya Karangploso, Kotak Pos 199, Malang

E-mail: emysulistyowati@yahoo.co.uk

Diterima: 9 Agustus 2012

disetujui: 26 Oktober 2012

### **ABSTRAK**

Pendekatan teknologi hibrida menawarkan perbaikan tingkat produktivitas, ketahanan terhadap hama dan kekeringan, serta mutu serat melalui pemanfaatan gen-gen dari kedua tetua potensial. Dalam memproduksi benih varietas kapas hibrida dapat ditempuh dengan dua cara, yaitu secara konvensional dan dengan memanfaatkan sifat jantan mandul. Penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi sumber daya genetik kapas untuk karakter *restorer* atau kemampuan merestorasi fertilitas pada F1 dilaksanakan di Malang (untuk kegiatan persilangan), dan Bojonegoro (untuk pengujian F1 hasil persilangan) pada tahun 2010 dan 2011. Persilangan dilakukan antara galur mandul jantan 06050 BC3/15 X K7 (BC4) sebagai tetua betina, dengan masing-masing 60 aksesori kapas sebagai tetua jantan pada tahun 2010 dan 2011. F1 hasil persilangan untuk mendapatkan *restorer* ditanam di Bojonegoro dalam rancangan acak kelompok diulang 2 kali dengan luas masing-masing plot adalah 2 m x 5 m. Pengamatan meliputi persentase fertilitas dari F1, komponen hasil, dan hasil kapas berbiji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama dua tahun pengujian diperoleh sebelas aksesori kapas yang mampu merestorasi karakter mandul jantan, yaitu 9442, SHR, KPX 22, CTX 5, CTX 7, CTX 4, CTX 2, CTX 6, 9445, 9446, dan NFBL 3, namun hanya dua aksesori yang stabil menunjukkan potensi merestorasi karakter mandul jantan, yaitu SHR dan KPX 22. Produktivitas tertinggi dicapai oleh hasil persilangan dengan aksesori SHR, yaitu tetua jantan dengan potensi restorasi 100% yang galurnya mampu menghasilkan 1.457,5 kg kapas berbiji/ha. Dengan demikian SHR merupakan aksesori yang cukup prospektif untuk digunakan sebagai salah satu tetua jantan dalam perakitan kapas hibrida nasional.

Kata kunci: Kapas, *restorer*, mandul jantan

### **ABSTRACT**

Hybrid technology approach offers improvement in terms of productivity, resistance to pest and drought, and fiber properties by exploiting genes of both parent lines. Seed production of cotton hybrid varieties can be done either conventionally or by applying male sterile character. Experiments aiming to evaluate cotton accessions for restorer character or the ability to restore fertility in F1 lines were performed in Malang (for crossing programs) and Bojonegoro (for F1 evaluation) in 2010 and 2011. Crossings were done between a male sterile female parent, 06050 BC3/15 X K7 (BC4) and 60 cotton accession each in 2010 and 2011. The F1 lines resulted from the crossings were arranged in randomized block design with two replications using 2 m x 5 m plot size. Observation was done on percentage of fertility, yield components, and yield of F1 lines. Experimental result showed that during two year tests, 11 cotton accessions have been determined as restorer of male sterility, i.e. 9442, SHR, KPX 22, CTX 5, CTX 7, CTX 4, CTX 2, CTX 6, 9445, 9446, and NFBL 3, although only two accessions showed stability in restoring male sterility, i.e. SHR and KPX 22. The highest yield was achieved by F1 line resulting from crossing using SHR accession as male parent which showed 100% restorer potency and yield of 1,457.5 kg cotton seed/ha. This shows that SHR might be a prospective male parent used in the development of national cotton hybrid variety.

Keywords: Cotton, restorer, male sterility

## PENDAHULUAN

**R**ENDAHNYA produksi serat merupakan masalah yang dihadapi perkapasan di Indonesia yang antara lain disebabkan oleh ekspresi potensi produksi dari varietas yang digunakan belum maksimal, dan adanya gangguan serangan hama penggerek buah. Varietas kapas yang tinggi produktivitasnya, tahan hama, serta tinggi mutu seratnya akan meningkatkan produksi kapas nasional. Peningkatan produktivitas kapas dapat didekati dengan upaya pengembangan varietas hibrida yang memiliki keunggulan potensi produksi dibandingkan tetuanya, ataupun varietas komersial lainnya. Pengembangan varietas kapas hibrida menggunakan varietas-varietas yang telah dilepas (Kanesia) sebagai tetua, diharapkan mampu meningkatkan produktivitas >3 ton/ha. Selain itu, varietas kapas hibrida yang dihasilkan tersebut juga diharapkan mampu beradaptasi lebih baik dibandingkan dengan varietas-varietas kapas hibrida hasil introduksi, sehingga diharapkan dapat meningkatkan pendapatan petani sebesar 15–20%.

Varietas kapas unggul yang dikembangkan sekarang ini dihasilkan dari program perbaikan produktivitas, ketahanan terhadap hama pengisap dan kekeringan, serta mutu serat menggunakan koleksi plasma nutfah yang ada. Keunggulan varietas-varietas tersebut belum maksimal, dan hanya menyebabkan peningkatan produktivitas yang relatif kecil. Pendekatan teknologi hibrida menawarkan perbaikan tingkat produktivitas, ketahanan terhadap hama dan kekeringan, serta mutu serat melalui eksploitasi gen-gen dari aksesori tetua potensial. Teknologi kapas hibrida merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas tanaman melalui pemanfaatan fenomena heterosis, yaitu keunggulan generasi F1 yang nyata dibandingkan tetuanya. Manickam *et al.* (2010) menyatakan bahwa tingkat heterosis tercatat 7–50% pada persilangan interspesies kapas antara *G. hirsutum* (2n=52) dan *G. barbadense* (2n=52), 10–138% pada persilangan intraspesies *G. hirsutum*, dan bahkan

mencapai 110% pada persilangan antara dua spesies kapas diploid *G. herbaceum* (2n= 26) x *G. arboreum* (2n= 26).

Dalam memproduksi benih kapas hibrida dapat ditempuh dengan dua cara, yaitu secara konvensional dan dengan memanfaatkan sifat mandul jantan (*male-sterility*). Pemanfaatan sifat *male steril* dalam memproduksi benih hibrida lebih menguntungkan dibandingkan dengan cara konvensional, yaitu lebih menghemat tenaga kerja, dengan demikian biaya produksi menjadi lebih murah, dan kegagalan hasil persilangan akibat kerusakan mekanis dapat ditekan sehingga benih yang dihasilkan lebih banyak (Singh *et al.* 2002).

Produksi kapas hibrida yang efisien membutuhkan tetua betina yang mandul jantan, tanpa kehilangan fertilitas organ betina ataupun vigor reproduktif. Terdapat tiga tipe mandul jantan yaitu *genetic male sterility* (GMS), *cytoplasmic male sterility* (CMS), dan *cytoplasmic genic male sterility* (CGMS). GMS jika persilangan antara tanaman steril (A) dan tanaman fertil (B) akan menghasilkan tanaman F1: 50% steril dan 50% fertil, CMS jika tanaman F1 semuanya steril (100%), demikian juga pada CGMS jika tanaman F1 semuanya steril (Singh & Sanjeev 1999). Sumber gen mandul jantan terdapat pada beberapa spesies kapas, yaitu *G. arboreum*, *G. anomalum*, *G. harknessii*, dan *G. trilobum*.

Kapas hibrida F1 harus bersifat fertil; artinya harus menghasilkan bunga yang fertil dan membentuk biji. Hal ini disebabkan serat kapas yang diharapkan dari usaha tani kapas berkembang dari epidermis kulit biji kapas. Jadi apabila tidak terbentuk biji, maka serat kapas yang diharapkan juga tidak akan diperoleh. Oleh karena itu, sistem mandul jantan pada tetua betina harus dikembalikan menjadi fertil dengan memanfaatkan gen *restorer*.

Dalam hal restorasi terhadap karakter mandul jantan, terdapat dua gen yang berperan yaitu gen *Rf1* dan *Rf2*, yang masing-masing berperan dalam CMS sistem D2 dan D8 (Zhang & Stewart 2001a; 2001b; 2004). *Rf1* mampu berperan sebagai *restorer* dalam

sistem CMS D2 dan D8, sedangkan *Rf2* hanya berperan sebagai *restorer* dalam sistem CMS D8 saja. *Rf1* dan *Rf2* bukan pasangan alel, tetapi kedua gen tersebut berada dalam satu kromosom dan memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan jarak genetik berkisar 0,93 cM saja (Zhang & Stewart 2001a).

Marka molekuler untuk identifikasi *Rf1* dan *Rf2* telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Untuk mengidentifikasi *Rf1*, telah cukup banyak marka molekuler yang dikembangkan berupa marka-marka RAPD, SSR, dan STS (Guo *et al.* 1997; Lan *et al.* 1999; Liu *et al.* 2003; Zhang & Stewart 2004; Feng *et al.* 2005; Yin *et al.* 2006). Sedangkan untuk identifikasi *Rf2*, telah dilaporkan marka-marka molekuler berupa tiga marka RAPD, STS, SSR, AFLP, CAPS, dan PPR-AFLP (Zhang & Stewart 2004; Wang *et al.* 2007). Hasil penelitian Sapkal *et al.* (2011) diperoleh tiga varietas sebagai pemelihara (*maintainer*) karakter mandul jantan yaitu AKH 108, AKH 118, dan AKH 2173, dan dua varietas sebagai pemulih kembali (*restorer*) karakter mandul jantan yaitu AKH-31 dan AKH 4943 yang dapat digunakan sebagai tetua dalam merakit varietas kapas hibrida.

Penelitian ini dilaksanakan selama dua tahun bertujuan untuk menguji kemampuan 120 aksesori kapas untuk memulihkan kembali karakter mandul jantan. Pemilihan aksesori dilakukan dengan sengaja berdasarkan informasi genetik dari donornya. Makalah ini menyajikan hasil evaluasi sumber genetik kapas untuk karakter *restorer* atau kemampuan merestorasi fertilitas pada F<sub>1</sub>; yang selanjutnya akan digunakan sebagai tetua jantan dalam memproduksi varietas kapas hibrida.

## BAHAN DAN METODE

Kegiatan persilangan untuk menghasilkan benih F<sub>1</sub> dilaksanakan di Malang, dan selanjutnya pengujian F<sub>1</sub> dilaksanakan di KP Sumberarjo pada tahun 2010 dan 2011. Persilangan dilakukan menggunakan galur mandul

jantan 06050 BC3/15 X K7 (BC4) sebagai tetua betina, dengan masing-masing 60 aksesori kapas sebagai tetua jantan pada tahun 2010 dan 2011. Tetua betina ditanam masing-masing sebanyak 3 pot masing-masing sebanyak 2 tanaman. Setiap tetua jantan ditanam 2 pot masing-masing sebanyak 2 tanaman. Tabel 1 dan Tabel 2 menyajikan daftar aksesori kapas yang diuji untuk potensi *restorer* karakter mandul jantan.

Tabel 1. Daftar aksesori kapas yang digunakan sebagai tetua pada persilangan untuk mendapatkan *restorer* sifat mandul jantan tahun 2010

No.	Kode KI	Aksesori	No.	Kode KI	Aksesori
1.	830	Turkey 5	31.	625	NF 618
2.	829	Turkey 4	32.	626	V2
3.	828	Turkey 3	33.	628	SHR
4.	827	Turkey 2	34.	632	NFBL 3
5.	826	Turkey 1	35.	676	PSJ II
6.	825	Nazili 87	36.	675	PSJ I
7.	824	Nazili 84-S	37.	674	NIAB
8.	488	CTX 2	38.	671	KK 14
9.	490	CTX 4	39.	670	UPLC 2
10.	491	CTX 5	40.	669	VN 40
11.	492	CTX 6	41.	668	MCMS 1
12.	493	CTX 7	42.	667	KK 13
13.	475	9442	43.	666	VN 45
14.	477	9445	44.	665	NSIC-CT 11
15.	478	9446	45.	664	MCLS 6
16.	612	Khan Kao 1	46.	663	DP 5690
17.	613	Fai Nai	47.	662	LMG-BR
18.	614	Ngwe Chi 1	48.	659	Xian
19.	615	Ngwe Chi II	49.	644	CRDI 1
20.	616	Dora 11	50.	643	Anjil
21.	617	Psb CT 8	51.	642	Ex-SRT 1
22.	711	GIZA 90	52.	641	SSR 60
23.	693	Chinese X 229	53.	640	NH 14
24.	692	PTY 800	54.	639	NH 4
25.	689	US PIMA	55.	638	KK 3
26.	688	China X 146	56.	635	Suta
27.	686	IC 05	57.	634	HB 3M
28.	618	CRDI 2	58.	633	Ajeet 88
29.	620	DPNF 3	59.	632	NFBL 3
30.	623	NFBT 3	60.	631	KPX 22

F<sub>1</sub> hasil persilangan untuk mendapatkan *restorer* ditanam di Bojonegoro dalam rancangan acak kelompok diulang 2 kali dengan

luas masing-masing plot adalah 2 m x 5 m. Pengamatan meliputi persentase fertilitas dari F1, komponen hasil, dan hasil kapas berbiji. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisa varian dilanjutkan dengan uji Duncan taraf 5%.

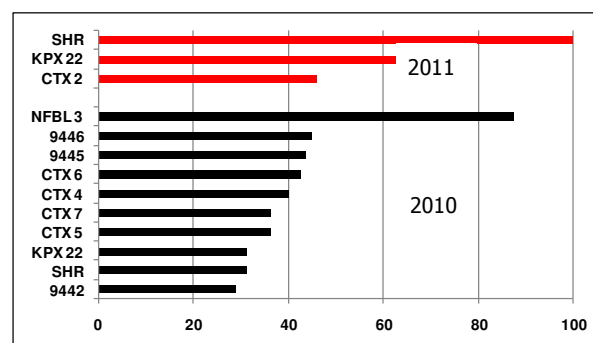
Tabel 2. Daftar aksesori kapas yang digunakan sebagai tetua pada persilangan untuk mendapatkan *restorer* sifat mandul jantan tahun 2011

No.	Kode KI	Aksesori	No.	Kode KI	Aksesori
1.	632	NFBL 3	31.	567	NF 102
2.	631	KPX 22	32.	568	NF 201
3.	628	SHR	33.	225	China Cotton
4.	488	CTX 2	34.	286	Kapas Merah
5.	440	CHINE 401	35.	571	NF 210
6.	441	CHINE-1-0/5	36.	572	NF 302
7.	442	BOU 80	37.	573	NF 303
8.	443	DZA 71-39	38.	574	NF 301
9.	444	DZA 72-M	39.	576	4-KAS
10.	447	ALA 72-10	40.	577	5-SHA
11.	448	ALA 73-2M	41.	578	6-MTH-126
12.	450	SAMARU 68	42.	579	7-NSCH 888
13.	451	SAMARU 69	43.	580	8-NSCH 999
14.	454	BOU 8	44.	581	S II
15.	500	SIOKRA 1-4	45.	582	A-IN-4A
16.	501	SICALA V-2	46.	299	MYSORE VIJAYA
17.	502	RFBL	47.	413	AK 32
18.	504	SIOKRA S 324	48.	314	PAYMASTER 404
19.	505	CS 50	49.	415	SU 28
20.	555	H 55	50.	332	BJA SM-68
21.	62	PI 43731	51.	335	REBA B-50
22.	72	YSLETA COMPACT	52.	351	MCU 9
23.	558	N 726	53.	423	G-COT 100
24.	559	N 729	54.	425	ALBAR K 602
25.	560	NFBL 4	55.	438	PUSA 1
26.	561	NFBL 5	56.	439	TM-1
27.	83	731Nx1656-12-76-2	57.	409	SRT 1
28.	563	NF 26	58.	406	FST 1
29.	565	NF 62	59.	407	FST 2
30.	566	NF 101	60.	404	UPLC 1

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Persilangan tahun 2010 yang menggunakan 60 aksesori kapas sebagai tetua jantan hanya menghasilkan 58 galur F1, karena dua persilangan (dengan CTX 2 dan VN 45) yang gagal menghasilkan buah. Di antara 58 F1 hasil persilangan terdapat 10 aksesori tetua jantan yang mampu merestorasi karakter fertil pada tetua betina, yaitu 9442, SHR, KPX 22, CTX 5, CTX 7, CTX 4, CTX 6, 9445, 9446, dan NFBL 3, dengan tingkat fertilitas yang berkisar dari 28,75–87,5% (Gambar 1).

Pada pengujian tahun 2011 diperoleh 3 aksesori yang mampu merestorasi karakter mandul jantan (yaitu aksesori-aksesori KPX 22, SHR, dan CTX 2 dengan kemampuan restorasi berturut-turut 63,16%; 100%; dan 46,15% Gambar 1).



Gambar 1. Daya restorasi sifat mandul jantan aksesori-aksesori kapas di Bojonegoro tahun 2010 dan 2011

Singh *et al.* (2002) menyebutkan bahwa suhu sangat berpengaruh terhadap ekspresi karakter mandul jantan. Konsistensi ekspresi karakter mandul jantan diamati pada suhu > 33°C, tetapi suhu >35°C menyebabkan aborsi *square* dan terbelahnya anter. Aksesori-aksesori mandul jantan dilaporkan berubah menjadi fertil apabila suhu udara <16°C. Hasil penelitian Meyer (1975) menunjukkan kemampuan merestorasi karakter fertilitas disandi oleh satu gen, dan hal ini dikonfirmasi oleh daSilva *et al.* (1981).

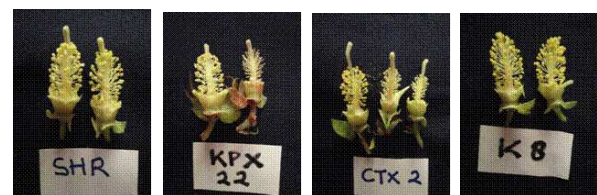
Berkaitan dengan mekanisme restorasi mandul jantan Zhang *et al.* (2001) menjelas-

kan bahwa pada persilangan dengan aksesori yang mengandung gen *restorer* dominan *Rf*, terjadi penghambatan pada efek yang dimunculkan oleh gen penyandi sterilitas sehingga terjadi proses mikrosporogenesis normal dan terbentuk mikrospora yang mengalami mitosis dan mengakumulasi zat-zat tepung sehingga berkembang menjadi tepung sari yang fertil. Sebaliknya, pada aksesori yang mengandung gen *restorer* resesif *rf*, terjadi reaksi-reaksi antara lain penghambatan sintesa asam amino, protein, dan zat tepung, proses kerusakan protein, dan pemasakan tepung sari. Dari hasil pengujian tahun 2010 dan 2011, hanya terdapat dua aksesori yang secara konsisten mampu merestorasi karakter mandul jantan yaitu aksesori SHR dengan kemampuan merestorasi 35% dan 100%, dan aksesori KPX 22 dengan kemampuan merestorasi 35% dan 58%.

Hasil penelitian tentang mekanisme restorasi karakter mandul jantan menunjukkan bahwa gen-gen yang berpengaruh pada proses restorasi karakter mandul jantan antara lain adalah *phosphoribosylanthranilate transferase* yang berperan pada sintesa triptofan, *starch synthase* untuk sintesa pati, *calnexin* yang berperan pada pemasakan protein, *polyubiquitin* yang berperan pada sintesa protein-protein yang dibutuhkan pada proses degradasi, dan *ascorbate oxidase* yang berperan pada proses perkecambahan tepung sari (Zhang *et al.* 2001). Pada tanaman F1 yang memiliki gen dominan *Rf2*, proses mitosis berlangsung normal sehingga proses mikrosporogenesis dan perkembangan *microspore* berlangsung normal sehingga terjadi akumulasi pati dan berkembang menjadi tepung sari yang fertil. Sedangkan pada tanaman yang memiliki gen resesif *rf2*, terjadi supresi aktivitas gen-gen untuk sintesa asam amino, protein, dan pati, serta pemasakan tepung sari sehingga pada tepung sarinya tidak terjadi deposisi pati dan berkembang menjadi steril.

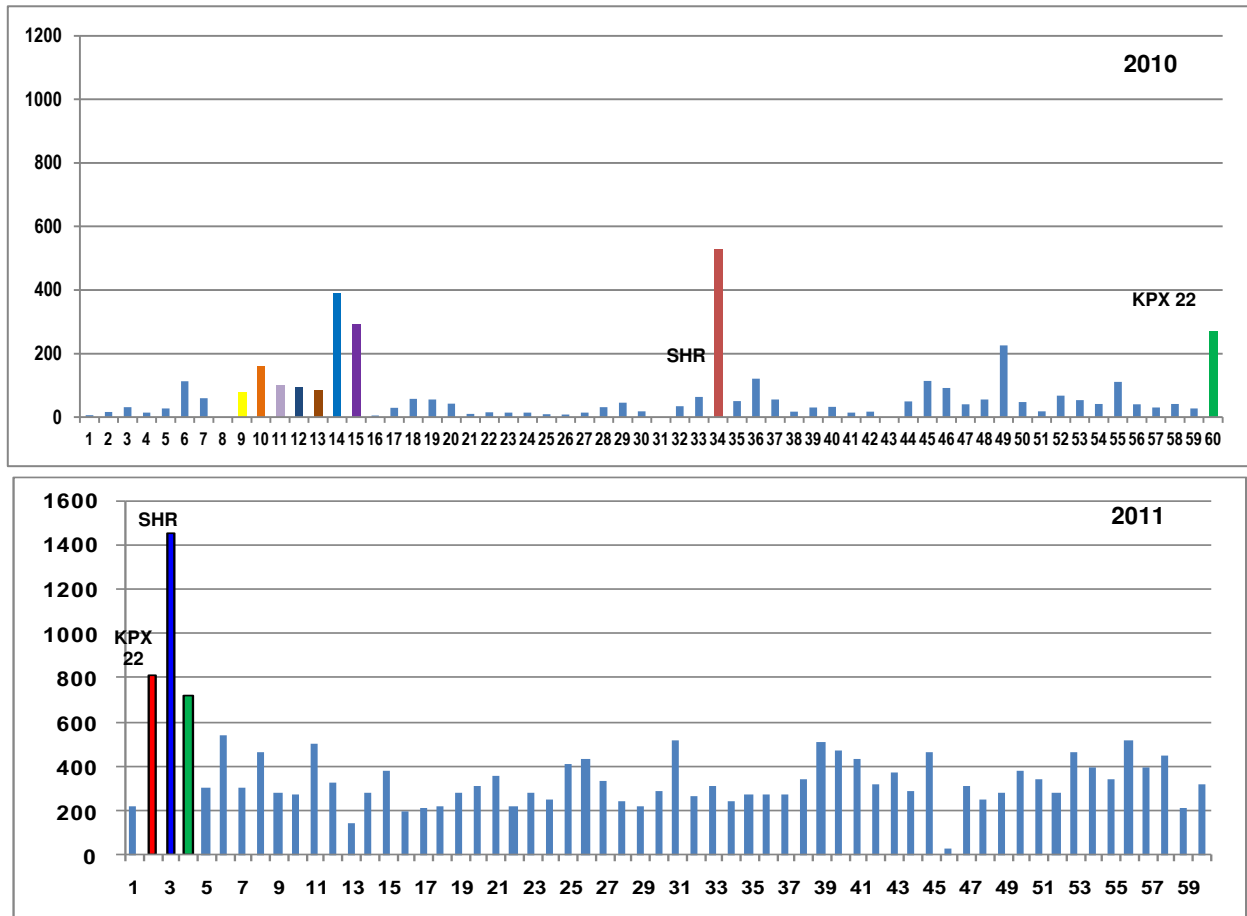
Daya restorasi tersebut di atas sangat berkaitan dengan penampilan organ bunga jantan. Aksesori yang memiliki daya restorasi tinggi struktur bunga jantannya sempurna yaitu

kotak polen terisi penuh dengan tepung sari, sedangkan aksesori yang daya restorasinya rendah, sebagian bunga bersifat steril yaitu kotak pollen tidak terbentuk atau tidak berisi tepung sari (Gambar 2). Kanesia 8 sebagai pembanding semua kotak sarinya berisi tepung sari, demikian juga aksesori aksesori SHR. Sedangkan aksesori KPX 22 dan CTX 2 struktur bunganya tidak seragam dan merupakan campuran antara bunga fertil dan bunga steril.



Gambar 2. Struktur organ bunga jantan tiga aksesori yang memiliki karakter *restorer* sifat mandul jantan (KPX 22, SHR, dan CTX 2) dibandingkan dengan Kanesia 8

Kapas berbiji hasil persilangan tetua betina mandul jantan dengan aksesori-aksesori sebagai tetua jantan dalam rangka evaluasi potensi untuk merestorasi karakter mandul jantan disajikan dalam Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat ditunjukkan bahwa produktivitas yang dicapai baik oleh hasil persilangan *restorer* maupun varietas kontrol Kanesia 8 dan Kanesia 13 adalah kurang dari 1.000 kg kapas berbiji per hektar. Hal ini disebabkan oleh curah hujan yang sangat tinggi pada periode pembentukan buah, sehingga banyak bakal buah ataupun buah muda yang gugur. Pada pengujian tahun 2011, produktivitas yang cukup tinggi ditampilkan oleh galur-galur yang dihasilkan dari persilangan tetua betina mandul jantan dengan tetua jantan yang memiliki potensi sebagai *restorer*. Produktivitas tertinggi dicapai oleh hasil persilangan dengan aksesori SHR, yaitu tetua jantan dengan potensi restorasi 100% yang galurnya mampu menghasilkan 1.457,5 kg kapas berbiji/ha. Dengan demikian SHR merupakan aksesori yang cukup prospektif untuk digunakan sebagai salah satu tetua jantan dalam perakitan kapas hibrida nasional.



Gambar 3. Hasil kapas berbiji/ha galur-galur kapas F1 persilangan *restorer* pada pengujian tahun 2010 dan 2011 di Bojonegoro

Tabel 3. Nilai korelasi (cetak hitam) dan peluang  $> |r|$  ( $H_0: \rho=0$ ) (cetak biru) peubah-peubah kemampuan restorasi sifat mandul jantan, jumlah buah, berat buah, dan produksi kapas berbiji per hektar pada persilangan menggunakan 60 aksesori kapas sebagai tetua jantan untuk seleksi sifat *restorer*

	Fertilitas	Jumlah buah	Berat buah	Produksi
Fertilitas	1	0,28772 0,0258	0,34581 0,0068	0,79481 <,0001
Jumlah buah		1	-0,14206 0,2789	0,19297 0,13696
Berat buah			1	0,60089 <,0001
Produksi				1

Tabel 3 menyajikan nilai koefisien korelasi dan peluangnya dari ketiga peubah tersebut berdasarkan hasil pengujian tahun

2011. Fertilitas berkorelasi positif baik dengan jumlah buah maupun produktivitas. Semakin tinggi fertilitasnya, maka jumlah buah, berat buah, dan produktivitas kapas berbiji juga semakin tinggi. Jumlah buah berkorelasi negatif dengan berat buah dan berkorelasi positif dengan hasil kapas berbiji per hektar, meskipun korelasinya tidak nyata. Berat buah menunjukkan korelasi positif dengan hasil kapas berbiji yang diperoleh. Manickam *et al.* (2010) menyatakan bahwa varietas *Suvin restorer*, yang dihasilkan melalui persilangan antara varietas *Suvin* dengan *Pima restorer*, mampu menghasilkan kapas berbiji yang lebih tinggi dengan mutu serat yang sangat bagus hingga mampu menghasilkan benang 80S. Somro *et al.* (1989) juga menyatakan bahwa kemampuan merestorasi karakter mandul jantan ber-

korelasi positif dengan hasil kapas berbiji, tetapi berkorelasi negatif dengan berat biji, kandungan serat, dan panjang serat.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama dua tahun pengujian diperoleh sebelas aksesori kapas yang mampu merestorasi karakter mandul jantan, yaitu CTX 2, CTX 4, CTX 5, CTX 6, CTX 7, 9442, 9445, 9446, SHR, NFBL 3, dan KPX 22. Akan tetapi hanya dua aksesori yang stabil menunjukkan potensi merestorasi karakter mandul jantan, yaitu SHR dan KPX 22. Produktivitas tertinggi dicapai oleh hasil persilangan dengan aksesori SHR, yaitu tetua jantan dengan potensi restorasi 100% yang galurnya mampu menghasilkan 1.457,5 kg kapas berbiji/ha. Dengan demikian SHR merupakan aksesori yang cukup prospektif untuk digunakan sebagai salah satu tetua jantan dalam perakitan kapas hibrida nasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- daSilva, FP, Endrizzi, JE & Stith, LS 1981, Genetic study of restoration of pollen fertility of cytoplasmic male-sterile cotton, *Review of Brazil Genetics* 4(3):411–426.
- Feng, CD, Stewart, JM & Zhang, JF 2005, STS-markers linked to the Rf1 fertility restorer gene in cotton, *Theory of Applied Genetics* 110:237–243.
- Guo, WZ, Zhang, TZ Pan, JJ & Kohel, RJ 1997, Identification of RAPD markers linked with fertility restorer gene of cytoplasmic male sterile lines in upland cotton, *Chinensis Science Bulletin* 42:2645–2647.
- Lan, T, Cook, CG & Paterson, AH 1999, Identification of a RAPD marker linked to a male fertility restoration gene in cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *J. Agricultural Genomics* 4:299.
- Liu, LW, Guo, WZ, Zhu, XF & Zhang, TZ 2003, Inheritance and fine mapping of fertility restoration for cytoplasmic male sterility in *Gossypium hirsutum* L., *Theoretical Applied Genetics* 106:461–469.
- Manickam, S, Gururajan, KN & Gopalakrishnan, N 2010, Development of isogenic restorer line in extra long staple cotton variety Suvin, *Electronic Journal of Plant Breeding* 1(4):632–636.
- Meyer, VG 1975, Male-sterility from *Gossypium harknessii*, *Journal Heredity* 66:23–27.
- Sapkal, DR, Sutar, SR, Thakre, PB, Patil, BR, Paterson, AH & Waghmare, VN 2011, Genetic diversity analysis of maintainer and restorer accessions in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 20(1):20–28.
- Singh, P & Sanjeev, S 1999, *Heterosis breeding in cotton*. Kalyani Publishers, New Delhi, India, 107 p.
- Singh, SB, Singh, P & Mayee, CD 2002, Male sterility in cotton, *CICR Technical Bulletin* No. 24, CICR Nagpur, India, 16 p.
- Somro, BA, Baloch, AH & Somro, AR 1989, Combining ability estimates of some tester lines used on to cytoplasmic male sterile cotton, *Pakistani Journal of Botany* 21(1):3–12.
- Wang, F, Stewart, JM & Zhang, J 2007, Molecular markers linked to the Rf2 fertility restorer gene in cotton, *Genome* 50:818–824.
- Yin, J, Guo, W, Yang, L, Liu, L & Zhang, T 2006, Physical mapping of the Rf1 fertility-restoring gene to a 100 kb region in cotton, *Theoretical Applied Genetics* 112:1318–1325.
- Zhang, JF & Stewart, McD 2001a, Inheritance and genetic relationships of the D8 and D2-2 restorer genes for cotton cytoplasmic male sterility, *Crop Science* 41:289–294.
- Zhang, JF & Stewart, McD 2001b, CMS-D8 restoration in cotton is conditioned by one dominant gene, *Crop Science* 41:283–288.
- Zhang, JF, Stewart, J.McD & Turley, RB 2001, Fertility restoration of CMS-d8 in cotton: allelism and molecular mechanism, *Proceedings of the 2000 Cotton Research Meeting AAES Special Report* 198, p. 231–234.
- Zhang, JF & Stewart, JM 2004, Identification of molecular markers linked to the fertility of restorer genes for CMS-D8 in cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *Crop Science* 44:1209–1217.